ISSN 1561-5359. Штучний інтелект, 2016, № 3

УДК 004.942

В.Г. Писаренко[1], И.А. Варава[1], С.В. Корнеев[2], А.В. Кузько[3]
[1] Институт кибернетки имени В.М. Глушкова НАН Украины, Украина
пр. Академика Глушкова, 40, г. Киев, 03680
[2]Консорциум «BaltRobotics», Украина, Польша
ул. Большая Васильковская, 43, кв. 38, г. Киев, 01004
[3]Национальный антарктический научный центр МОН Украины, Украина
бул. Т. Шевченко, 16, г. Киев, 01601

О ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ АНОМАЛИИ МАСС ПОД ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПО ДАННЫМ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ, ИЗМЕРЕННОГО НАЗЕМНЫМ ГРАВИМЕТРОМ

V.G. Pisarenko[1], I.A. Varava[1], S.V. Korneev[2], A.V. Kuzko[3]
[1] V.M. Glushkov Institute of cybernetics of National academy of sciences of Ukraine, Ukraine
Glushkov av., 40, Kiev, 03187
[2]«BaltRobotics» sp.z.o.o, Ukraine, Poland
Big Vasilkovskaya st., 43, fl. 38, Kiev, 01004
[3]National Antarctic Scientific Center of MES of Ukraine, Ukraine
bul. Shevchenko, 16, Kiev, 01601

ABOUT THE ACCURACY OF DETERMINING OF THE ANOMALIES MASS COORDINATES BENEATH THE EARTH'S SURFACE ACCORDING TO THE NUMERICAL MODEL OF THE GRAVITATIONAL FIELD, THE MEASURED GROUND GRAVIMETER

Рассмотрена задача моделирования гравитационного потенциала сосредоточенной массы, заглубленной в многослойной литосфере.
Ключевые слова: аномалия масс, модель гравитационного поля, наземный гравиметр.
The problem of the gravity potential modeling of the concentrated weight buried in a multilayer litosphere is considered.
Keywords: mass anomaly, model of the gravitational field, ground gravimeter.

Введение

Задача определения природы источника, вносящего аномальный вклад в распределении отклонения значений гравитационного потенциала от регионального распределения $V(x, y, z)$, является некорректной, в том смысле, что измеренное реальное гравитационное поле полевым гравиметром в данной малой области может быть обеспечено в общем случае значительным числом вариантов распределения источника аномального поля под данным гравиметром. Вместе с тем, практически задача в таком случае обычно ставиться в форме поиска «некоторого эквивалентного» геометрически простого тела (в нескольких вариантах), для которого ожидаемое трехмерное распределение гравитационной аномалии имеет одну из базовых модельных форм.

Постановка проблемы

В данной работе предлагается достаточно практичная модель расчета распределения масс исследуемой гравитационной аномалии, сводящаяся к конечномерной модели «элементарных» кубических объемов на трехмерной сетке, для которых можно указать несколько наиболее вероятных прогнозных распределений аномалий масс.

Анализ последних исследований

Из практики грави-геологической разведки слабообследованных территорий в данной гравитационной разведке дополняется результатами приборного обследования данной аномальной зоны дополнительными технологиями (магнитовариационная разведка, геохимическая разведка пробы воздуха и водной компоненты грунта в зоне аномалии). Данная статья стимулирована практической задачей отыскания упавших метеоритов или признаков вулканической деятельности под слоем льда, несущих геофизические и геохимические эффекты как в толще снега или льда, так и вблизи поверхности ледового покрова однородной среды (типа снег и/или лед, характерные для Антарктиды).

Данные исследования проводятся в результате замысла авторов организовать и выполнить экспедиционные работы в Восточной Антарктиде с намерением получить, по возможности, непосредственную регистрацию:

1) ожидаемых признаков корреляции (в пространстве во времени) активизации тектонической и вулканической деятельности на Антарктическом континенте;

2) наблюдаемых признаков ускоренного таяния некоторых ледников на локальных территориях континентального шельфа.

По результатам экспедиции предполагается обеспечить информационную базу для получения средств прогнозирования зон и периодов ожидаемой активизации тектонической и вулканической деятельности на ряде территорий Антарктического континента. Планируется использовать для этих целей признаки возможной общности генезиса «вулканических популяций» Южной Америки и Западной Антарктики, на что указывают, в частности, недавние результаты глубоководного бурения океанического дна пролива Дрейка, а также ожидаемая прогнозируемость слабых землетрясений земных пород, покрытых антарктическими ледниками.

Авторы [1] излагают свои доводы о целесообразности использовать в планируемых экспедиционных работах, в частности, сейсмографы и новейшие технологии подводных исследований, разработанные в Институте кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины (группа ученых под руководством д.ф.-.м.н., проф. Писаренко В.Г., отдел математических проблем прикладной информатики - № 265) с применением оригинальных подводных автономных аппаратов Консорциума «BaltRobotics», имеющих видеосвязь и специальные технологии искусственного интеллекта [1].

Цель исследования

При наличии данных о гравитационном потенциале, на поверхности Земли можно найти аномальные зоны, под которыми находятся области с иным литосферным составом.

Основной материал

В задачах гравиметрии часто используется скалярная величина:

$$V = G\int \frac{dm}{\sqrt{r}}.$$

Алгоритм расчета поля гравитационного потенциала использует интеграл вида [2]:

$$V = G\int \frac{dm}{\sqrt{(x-x_0)^2+(y-y_0)^2+(z-z_0)^2}} \quad (1)$$

Расчетная модель представляет собой трехслойный параллелепипед, площадь основания которого составляет 20×20 кв. единиц. Высота каждого слоя задается в условных единицах. Пользователь имеет возможность выбрать состав слоя, тем самым изменив соответственно его плотность.

Алгоритм. Потенциальное поле рассчитывается для двумерной сетки $\{X, Y\}$. В каждом узле вычисляется трехкратный интеграл вида (1), где положено $z_0 = 0$, с помощью трех вложенных циклов. Первые два цикла (по i, j) соответствуют подсчету потенциала одного глубинного слоя. Внутренний цикл по k рассчитывает вклад в потенциал от единичного вертикального столбца в узле двумерной сетки. В зависимости от высоты меняется значение плотности (числитель в (1)). Если в узле трехмерной решетки $\{i, j, k\}$ находится аномалия, то нужно задать соответствующую плотность. После вычисления значений потенциала строится график трехмерной поверхности потенциала (рисунки 1-7).

Программное обеспечение разработано в системе MATLAB [3].

Аномалия моделируется с параллелепипеда с поперечным сечением в 1 кв. ед. протяженностью 5 ед., залегающего на заданной глубине в центре расчетной области. Состав аномалии представляет одну из 6 железных руд (таблица 1).

Таблица 1. Плотности железных руд

№	Название руды	Плотность, т/м^3
1	Магнетит	4,90
2	Гематит	5,26
3	Гидрогематит	4,28
4	Гетит	4,20
5	Лимонит	3,30
6	Сидерит	3,96

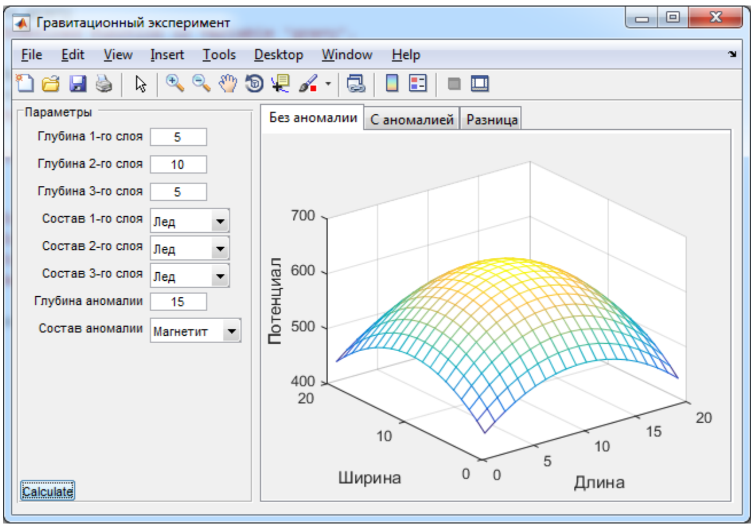


Рис. 1. Гравитационное поле над толщей льда.

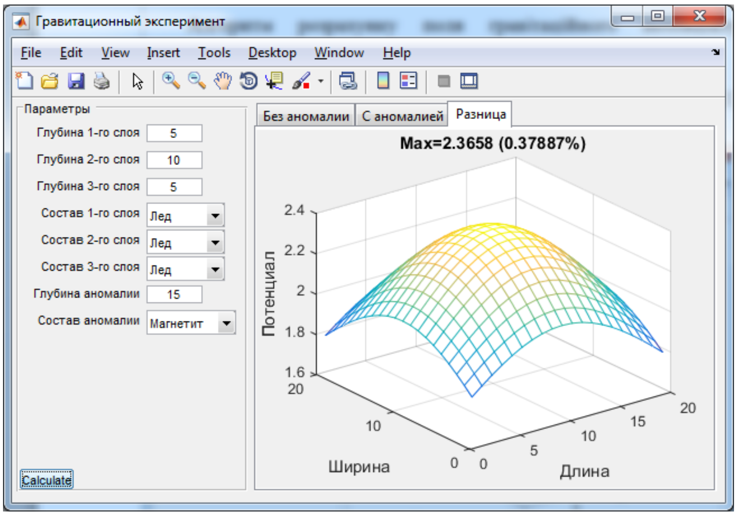


Рис. 2. Изменение гравитационного поля над толщей льда, вносимое аномалией на глубине 15 ед.

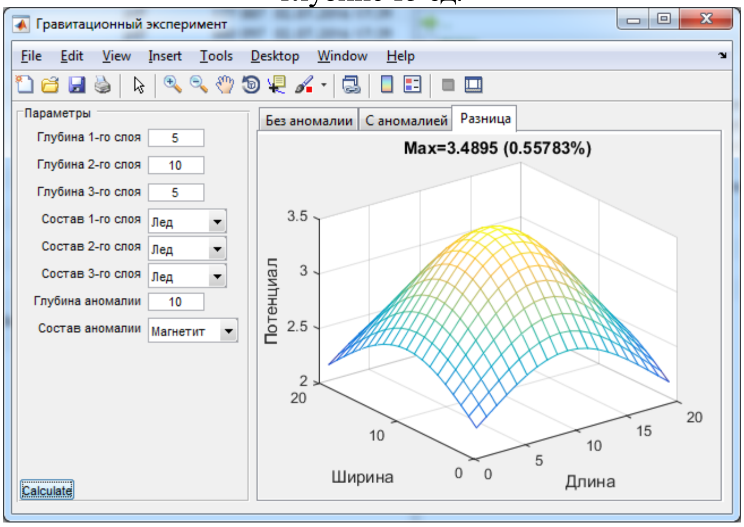


Рис. 3. Изменение гравитационного поля над толщей льда, вносимое аномалией на глубине 10 ед.

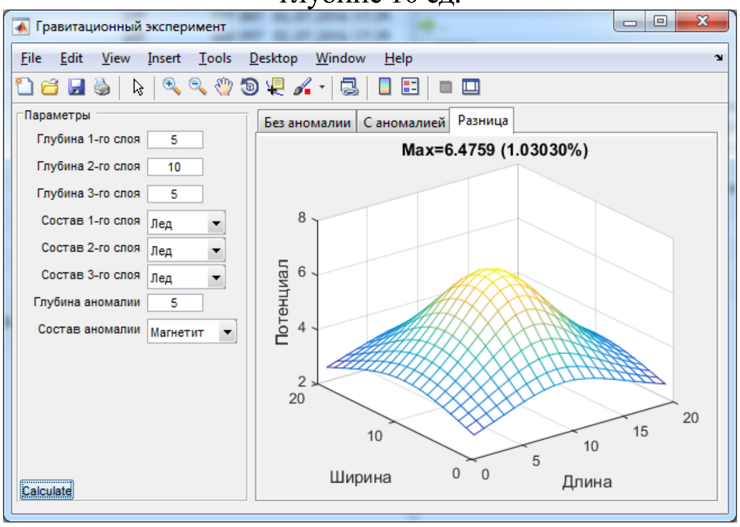


Рис. 4. Изменение гравитационного поля над толщей льда, вносимое аномалией на глубине 5 ед.

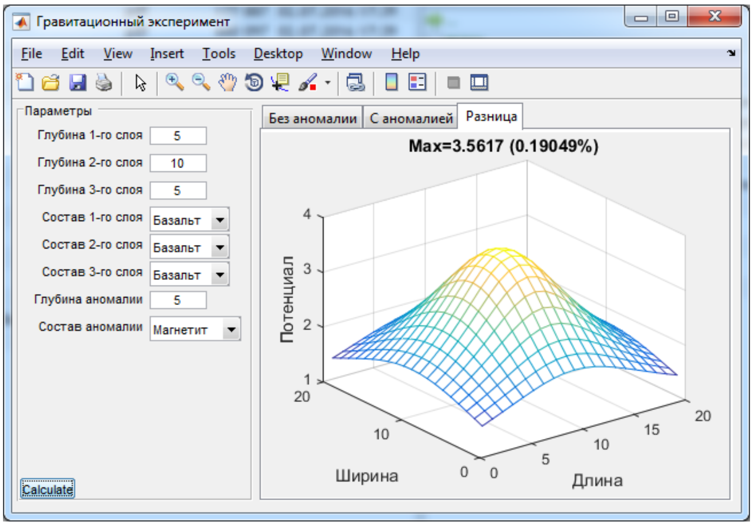


Рис. 5. Изменение гравитационного поля над толщей базальта, вносимое аномалией на глубине 5 ед.

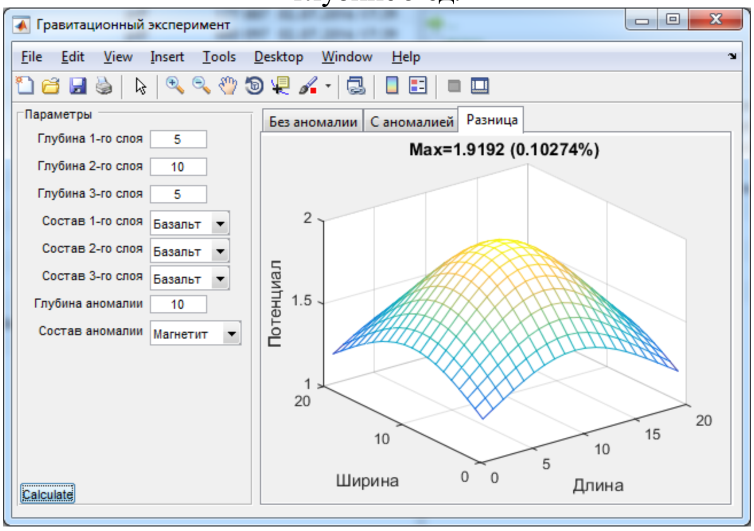


Рис. 6. Изменение гравитационного поля над толщей базальта, вносимое аномалией на глубине 10 ед.

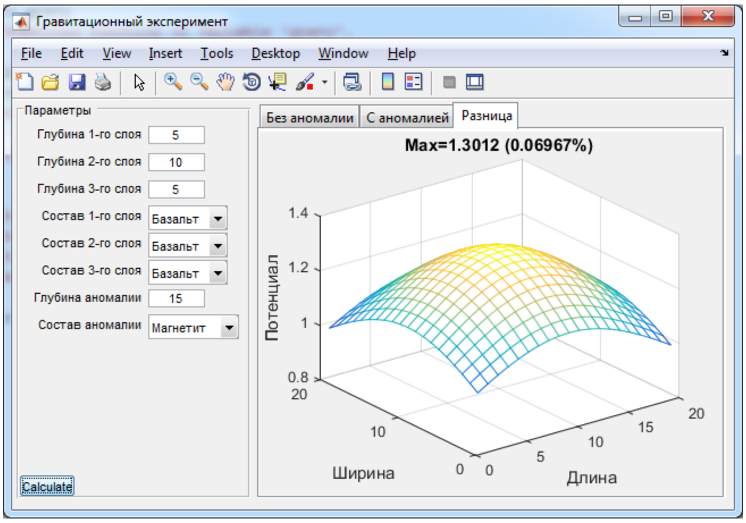


Рис. 7. Изменение гравитационного поля над толщей базальта, вносимое аномалией на глубине 15 ед.

Выводы

В ходе вычислительных экспериментов было выявлено, что отклонения гравитационного поля зависят от глубины аномалии и соотношения ее плотности с плотностью слоя, в котором она находится.

В качестве примера был произведен расчет «надежности распознавания» метеорита плотностью 5 т/м^3 (плотность метеоритов колеблется от 3,5 до 8 т/м^3) приближенной кубической формы размером в одну кубическую расчетную ячейку. Производился контрольный расчет обнаруживаемости предмета с аномальной плотностью 1,6 от плотности среды и (2, 3, 4 слои) с аномалией массы в $2.35 \cdot M$, распределенной в зонах 3, 4, 5 по оси Z (направленной к центру Земли) где M – масса одной кубической ячейки. При этом в расчетах считается, что однородная масса с плотностью ρ, а аномальная – $1{,}2 \cdot \rho$.

Література

1. Писаренко В.Г., Корнеев С.В., Кузько А.В. Об актуальности экспедиции в Восточную Антарктиду для мониторинга возможных признаков таяния ледников континентального шельфа // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2016. – № 15. – 7 с.
2. Серкеров С.А. Теория потенциала в гравиразведке и магниторазведке / С.А. Серкеров // М.: ОАО "Издательство "Недра". – 2000. – 350 с.
3. Marchand P. Graphics and GUIs with MATLAB /P. Marchand, O.T. Holland. - 3rd ed // Chapman and Hall/CRC. – 2003. – 542 p.

Literatura

1. Pisarenko V.G., Korneev S.V., Kuzko A.V. Ob aktualnosti ekspeditsii v Vostochnuyu Antarktidu dlya monitoringa vozmozhnyih priznakov tayaniya lednikov kontinentalnogo shelfa // Komp"yuterni zasoby, merezhi ta systemy. – 2016. – # 15. – 7 s.
2. Serkerov S.A. Teoriya potentsiala v gravirazvedke i magnitorazvedke / S.A. Serkerov // M.: OAO "Izdatelstvo "Nedra". – 2000. – 350 s.
3. Marchand P. Graphics and GUIs with MATLAB /P. Marchand, O.T. Holland. - 3rd ed // Chapman and Hall/CRC. – 2003. – 542 p.

RESUME

V.G. Pisarenko, I.A. Varava, S.V. Кorneev, A.V. Кuzko

About the accuracy of determining of the anomalies mass coordinates beneath the earth's surface according to the numerical model of the gravitational field, the measured ground gravimeter

The problem of determining the source of nature, which introduces anomalous contribution to the distribution of the deviation of the gravitational potential values of the regional distribution, is incorrect in the sense that the measured actual gravitational field by field gravimeter in this small area may be provided in general a significant number of power distribution options anomalous field under gravity data. However, practical problems in this case is usually made in the form of search, "the equivalent of a" geometrically simple bodies (in several versions), for which the expected three-dimensional distribution of the gravity anomaly is one of the basic forms of modeling. In this paper we propose a quite practical model for calculating the mass distribution of the studied gravity anomaly, which reduces to a finite-dimensional model of "elementary" cubic volume on the three-dimensional grid for which you can specify the number of the most probable forecast distributions of mass anomalies. From the practice of the gravity of the geological exploration poorly surveyed areas in the gravitational exploration complemented by the results of a survey instrument of this anomalous zone complementary technologies (magnetic variation exploration, geochemical exploration samples of air and water in the soil components of the anomaly

zone). This article stimulated by the practical task in finding meteorites or signs of volcanic activity beneath the ice bearing geophysical and geochemical effects in snow or ice is thicker, and near the surface of the ice cover homogeneous medium (such as snow and / or ice, are typical of Antarctica). If there is evidence of the gravitational potential at the surface of the Earth can be found anomalous zones, under which there are regions with different lithospheric structure. The computational model is a three-layer parallelepiped whose base area is 20×20 square meters units. The height of each layer is given in arbitrary units. The user has the possibility to choose the composition of the layer, thereby changing its density, respectively.

In the numerical experiments revealed that the deviations of the gravitational field anomalies depend on the depth and the ratio of its density with the density of the layer in which it resides.

Надійшла до редакції 25.11.2016

